REVISÃO SOBRE BIODIESEL: GERAÇÕES, MÉTODOS DE PRODUÇÃO, PURIFICAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA

Ana Clara Manfroi Martello, Fabio Bongoski, Roberto Francisco Wolf Jr

INTRODUÇÃO

A crescente preocupação com as mudanças climáticas e a necessidade de reduzir a dependência de combustíveis fósseis têm impulsionado o desenvolvimento de fontes energéticas renováveis. Entre elas, o biodiesel, que se destaca como alternativa viável ao diesel mineral, por ser biodegradável, apresentar baixa toxicidade e permitir o uso de matérias-primas variadas, como óleos vegetais, gorduras animais, microalgas e resíduos industriais [1]. Seu principal método de fabricação, se dá majoritariamente pela reação de transesterificação, na qual triglicerídeos reagem com um álcool na presença de catalisador, gerando ésteres graxos e glicerol como subproduto [2]. No Brasil, a mistura obrigatória de biodiesel ao diesel é regulamentada desde 2005 e vem sendo ampliada por sucessivas resoluções, o que reforça a relevância do tema [3]. Diante da diversidade de fontes e rotas tecnológicas disponíveis, este trabalho tem como objetivo revisar a literatura sobre as gerações de biocombustíveis, os métodos de produção e purificação do biodiesel, a caracterização físico-química de biodieseis obtidos de diferentes matérias-primas e as propriedades de evaporação do diesel e do biodiesel, comparando-os às normas técnicas nacionais e internacionais.

DESENVOLVIMENTO

O presente trabalho consiste em uma revisão bibliográfica que reuniu estudos sobre quatro eixos principais. Para melhor compreensão, o trabalho teve início por meio de uma revisão e análise das gerações de biocombustíveis, com destaque para a quarta geração, baseada em microalgas geneticamente modificadas cultivadas com CO_2 capturado industrialmente enfatizando a proposta da emissão de índices de carbono ainda menores. Em seguida, foram examinados os métodos de fabricação do biodiesel via transesterificação, considerando as rotas catalíticas ácida, alcalina, em duas etapas, por metanol supercrítico e enzimática, cada uma indicada conforme o teor de ácidos graxos livres e água da matéria-prima. Além disso, foi abordado o processo de purificação do biodiesel e do glicerol subproduto. Por fim, reuniram-se estudos de caracterização físico-química de biodieseis produzidos a partir de matérias-primas vegetais (microalgas, óleos de pinhão-manso, babaçu, uva, soja, milho, canola, girassol, entre outros), animais (sebo bovino, gordura de frango) e residuais (látex e óleo de fritura), comparando suas propriedades às normas ANP, EN 14214 e ASTM D6751. Um estudo complementar avaliou a cinética de evaporação de gotas de diesel e biodiesel em altas temperaturas, sendo este, fundamental para prever a atomização do combustível no motor, a formação da mistura ar-combustível e, consequentemente, a eficiência da queima e a emissão de poluentes.

RESULTADOS

Os resultados reunidos mostram que a composição em ácidos graxos molda o comportamento do biodiesel final. Óleos mais saturados, como o de coco de babaçu (83,4% de saturados, com destaque para o ácido láurico, 43,5%) [6], resultaram em maior número de cetano e boa resistência à oxidação, comportamento também observado no sebo bovino (65,52% de saturados, predominantemente estearato de metila) [13], embora ambos apresentem maior tendência à cristalização em baixas temperaturas. Já matérias-primas insaturadas, como soja, girassol e uva, favoreceram melhor comportamento a frio, ainda que com estabilidade oxidativa mais baixa; o biodiesel de uva, por exemplo, chegou a 66% de ácido linoleico (C18:2) [7]. O óleo de pinhão-manso mostrou-se predominantemente monoinsaturado (41,4% de ácido oleico), enquanto o óleo residual de fritura

apresentou perfil intermediário, com cerca de 48,3% de monoinsaturados e 29,6% de saturados, indicando boa estabilidade oxidativa aliada a propriedades adequadas de fluxo [6]. Na comparação entre diferentes óleos vegetais, os rendimentos de transesterificação variaram de 85,3% (canola) a 96,3% (sebo), com pureza dos ésteres entre 87,8% e 100,9% [7], e o biodiesel de milho atingiu 97,8% de conversão, superando o limite de 96,5% da norma EN 1403 [8].

Entre fontes menos convencionais, destacou-se o biodiesel da microalga *Scenedesmus quadricauda*, com número de cetano de 71,83 e estabilidade oxidativa de 8,38 g m^{-3}, acima do exigido pelas normas EN 14214/EN 590:2013, embora com viscosidade e densidade abaixo do esperado [5]. Resíduos animais e industriais também mostraram potencial: a gordura de frango, transesterificada com CaO de cascas de ovos, apresentou índice de acidez de 4,97 mg KOH/g e predominância de ácido oleico (61,8%) [14], enquanto o biocombustível pirolítico de sobras de látex (WRPO) exibiu ponto de névoa inferior a −5 °C e estabilidade oxidativa superior a 12 horas, ainda que exigisse ajustes de viscosidade e densidade [12]. Nos testes de aplicação, o biodiesel de soja etílico apresentou índice de cetano de 57,8 e reduziu o consumo de combustível em gerador de energia para misturas de até 20% [10], comportamento também observado nas misturas comercializadas no Amazonas (B2 a B20) [11]. Já os ensaios de evaporação por gota suspensa mostraram que o diesel apresenta o fenômeno de "puffing" em altas temperaturas, enquanto os biocombustíveis puros evaporam de forma mais uniforme e estável [15].

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A revisão evidenciou que a diversidade de matérias-primas e rotas tecnológicas influencia diretamente as propriedades físico-químicas do biodiesel, sendo a catálise alcalina a mais empregada comercialmente, ainda que fontes residuais e alternativas como resíduos de látex, gordura de frango e óleo de fritura se mostrem tecnicamente viáveis e alinhadas à economia circular. De modo geral, os biodieseis analisados atenderam às normas ANP, EN 14214 e ASTM D6751, confirmando sua viabilidade como substituto do diesel fóssil. Destaca-se, ainda, o potencial do biodiesel como fonte de energia acessível a comunidades vulneráveis e como estratégia de aproveitamento de resíduos do setor alimentício, desde que sua expansão seja conduzida com cautela quanto ao uso de insumos agrícolas como soja e milho, priorizando matérias-primas residuais e de quarta geração que equilibrem produtividade energética, segurança alimentar e sustentabilidade ambiental.

Palavras-chave: biodiesel; transesterificação; caracterização físico-química; matérias-primas; biocombustíveis.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] PRAJAPATI, Ajeet Kumar et al. Fourth-generation (4G) biodiesel: paving the way for a greener and sustainable energy future in emerging economies. Renewable and Sustainable Energy Reviews, v. 225, art. 116103, 2026. DOI: 10.1016/j.rser.2025.116103.

[2] MOHIDEM, Nur Atikah; AZIZ, Nabilla Afzan Abdul. Fourth generation biodiesel: a review of technology development, challenges, and future prospects. 2024.

[3] BRASIL. Lei nº 11.097, de 13 de janeiro de 2005. Dispõe sobre a introdução do biodiesel na matriz energética brasileira; altera as Leis nºs 9.478, de 6 de agosto de 1997, 9.847, de 26 de outubro de 1999 e 10.636, de 30 de dezembro de 2002; e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 14 jan. 2005. Disponível em:

http://legislacao.planalto.gov.br/legisla/legislacao.nsf/Viw_Identificacao/lei%2011.097-2005?OpenDocument. Acesso em: 16 set. 2026.
[4] ABDULLAH, Bawadi et al. Fourth generation biofuel: a review on risks and mitigation strategies. 2019. DOI: 10.1016/j.rser.2019.02.018.
[5] SHARMA, Harshit Kumar et al. Characterization of fatty acid biosynthesis in microalga Scenedesmus: from the perspective of biofuel production. Biochimica et Biophysica Acta (BBA) - Proteins and Proteomics, art. 141097, 2025. DOI: 10.1016/j.bbapap.2025.141097.
[6] ROCHA, Christiane Pereira; SOUSA, Lays Camila de; ROCHA, Elisiane Dantas. Análises de óleos vegetais e óleo residual bruto por cromatografia gasosa visando à produção do biodiesel. 2013. DOI: 10.24862/cco.v8i1.200.
[7] OLIVEIRA, Diogo Müller de et al. Obtenção de biodiesel por transesterificação em dois estágios e sua caracterização por cromatografia gasosa: óleos e gorduras em laboratório de química orgânica. 2013. DOI: 10.1590/S0100-40422013000500021.
[8] DANTAS, Manoel B. et al. Obtenção de biodiesel através da transesterificação do óleo de milho: conversão em ésteres etílicos e caracterização físico-química. In: CONGRESSO DA REDE BRASILEIRA DE TECNOLOGIA DO BIODIESEL, 1., 2006. Anais [...]. v. 1, p. 236-240, 2006.
[9] UZOAGBA, Chidiebele E. J. et al. Characterization of wood, leaves, barks, and pod wastes from Prosopis africana biomass for biofuel production. 2024. DOI: 10.1016/j.wmb.2024.07.007.
[10] FERRARI, Roseli Aparecida; OLIVEIRA, Vanessa da Silva; SCABIO, Ardalla. Biodiesel de soja: taxa de conversão em ésteres etílicos, caracterização físico-química e consumo em gerador de energia. Química Nova, v. 28, n. 1, p. 19-23, 2005. DOI: 10.1590/S0100-40422005000100004.
[11] SOUZA, Cristiane Daliassi Ramos de et al. Caracterização físico-química das misturas binárias de biodiesel e diesel comercializados no Amazonas. Acta Amazonica, v. 39, n. 2, p. 383-387, 2009. DOI: 10.1590/S0044-59672009000200017.
[12] MOONSIN, Preecha et al. The physicochemical properties of liquid biofuel derived from the pyrolysis of low-quality rubber waste. 2025. DOI: 10.1016/j.cscee.2024.101085. Acesso em: 14 ago. 2026.
[13] MORAES, Maria Silvana A. et al. Uso da cromatografia gasosa bidimensional abrangente (GCxGC) na caracterização de misturas biodiesel/diesel: aplicação ao biodiesel de sebo bovino. Química Nova, v. 34, n. 7, p. 1188-1192, 2011. DOI: 10.1590/S0100-40422011000700016.
[14] SOUSA, M. A. R. I. V. O. N. E. Produção de biodiesel a partir da gordura de frango pelo método de transesterificação heterogênea. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA QUÍMICA, 20., 2015. Anais [...]. São Paulo: Editora Edgard Blücher, 2015. DOI: 10.5151/CHEMENG-COBEQ2014-1011-21686-188636.
[15] GANJI, Mohammad Javad Ziabakhsh; NEEK, Sajad Jabari; GHASSEMI, Hojat. Evaporation kinetics of diesel and biofuel blends using the single droplet method. Next Sustainability, v. 6, p. 100165, 2025. DOI: 10.1016/j.nxsust.2025.100165.